

УЛУЧШЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПАН ВОЛОКОН ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ АРМИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

С. Баллыев, Ф.Р. Сагитова, Ф.С. Шарифуллин

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Улучшение адгезионных свойств полиакрилонитриловых (ПАН) волокон является важной темой исследований и разработок в области материалов и технологий. Адгезионные свойства ПАН-волокон, то есть их адгезионная способность к другим материалам или матрицам, играют ключевую роль в производстве композиционных волокнистых материалов различного назначения. Проблематика данного исследования заключается в том, что ПАН волокна химически инертны и с трудом образуют адгезивные связи с другими материалами. Это затрудняет склеивание, шивание или соединение с другими материалами. Также проблема ПАН волокон заключается в содержании ограниченных количеств активных функциональных групп, которые могут участвовать в химических реакциях с другими материалами, тем самым также снижая адгезию с другими материалами. В связи с этим целью работы является повышение адгезионных свойств ПАН волокон за счет применения высокочастотной емкостной плазмы пониженного давления, которая способствует созданию дополнительных активных групп на поверхности волокна.

Для оценки адгезионной прочности между ПАН волокнами и материалом матрицы использовалась универсальная испытательная машина серии Autograph AGS-X (Shimadzu), определение капиллярных свойств ПАН волокон проводилось по высоте капиллярного подъема воды.

Результаты экспериментальных исследований показали, что модификация ПАН волокон с использованием плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления способствует улучшению адгезионных свойств и капиллярности. Выявлен наилучший режим ВЧЕ плазменной обработки, который приводит к повышению адгезионной прочности на 53 % и капиллярности на 52 % относительно контрольного образца. Данное исследование подтверждает потенциал ВЧЕ плазменной обработки для повышения адгезионных свойств как ПАН волокон, так и других синтетических волокон.

Ключевые слова: модификация; высокочастотная емкостная плазма; адгезия; полиакрилонитрил; капиллярность; разрывная нагрузка.

Информация о статье: поступила 25 октября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

ENHANCING THE ADHESION PROPERTIES OF PAN FIBERS FOR THEIR APPLICATION AS A REINFORCING COMPONENT IN COMPOSITE MATERIALS

Salih Ballyev, Farida R. Sagitova, Farid S. Sharifullin

Kazan National Research Technological University, Russian Federation

ABSTRACT

Enhancing the adhesive properties of polyacrylonitrile (PAN) fibers is a significant research and development topic in materials and technology. The adhesive properties of PAN fibers, namely, their ability to adhere to other materials or matrices, play a key role in the production of various composite materials, fiber composites, and carbon fiber products. Enhancement of the adhesive properties of PAN fibers can pose the following challenges: PAN fibers are chemically inert and difficult to form adhesive bonds with other materials. This makes it difficult to glue, stitch, or join with other materials. PAN fibers contain a limited number of active functional groups that

can participate in chemical reactions with other materials, thereby reducing adhesion. PAN fibers have a smooth and non-porous surface, which also complicates adherence to other surfaces. The low surface energy of PAN implies that the molecules do not have a high affinity for other materials. In this context, the article addresses the pressing issue of enhancing the adhesive properties of PAN fibers through the use of low-pressure radio-frequency capacitive (RFC) plasma, which facilitates the creation of additional active groups on their surface. Active groups on the surface of the fibers can interact with other materials, such as resins, adhesives, or coatings, enhancing adhesion and creating more reliable connections. The article presents the results of a study of the influence of low-pressure high-frequency capacitive plasma on the adhesive properties of PAN fibers. The results of the adhesive strength and capillarity of PAN fibers after pre-treatment with low pressure plasma are discussed.

Keywords: *modification; radio-frequency capacitive plasma; adhesion; polyacrylonitrile; capillarity; breaking load; fiber; properties.*

Article info: *received October 25, 2023.*

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

ВВЕДЕНИЕ

Текстильная промышленность является одной из наиболее динамичных и инновационных отраслей, которая постоянно стремится к разработке новых материалов и технологий. В последние десятилетия синтетические волокна заняли важное место в этой сфере благодаря своим уникальным свойствам и широкому спектру применения. Одними из таких волокон, которые привлекают все большее внимание и находят широкое применение в текстильной промышленности, являются полиакрилонитрильные (ПАН) волокна. В современном инженерном и строительном мире постоянно возрастает потребность в инновационных материалах, способных обеспечивать высокую прочность, легкость и долговечность конструкций. Перспективным направлением в этой области является использование ПАН волокон в качестве армирующего компонента в композиционных материалах. В нашей статье мы рассмотрим способ улучшения адгезионных свойств ПАН волокон для применения их в качестве армирующего компонента композитов в различных отраслях промышленности.

Одним из основных преимуществ ПАН волокон являются их прочностные свойства, что позволяет использовать их в производстве текстильных изделий с высокими эксплуатационными характеристиками. Кроме того, ПАН волокна обладают высокой стойкостью к химическому воздействию, а также хорошей термической и коррозионной устойчивостью, что повышает привлекательность их применения в качестве

армирующего компонента в композиционных материалах для создания прочных и надежных конструкций.

Обработка текстильных волокон плазмой пониженного давления представляет собой важный аспект в области усовершенствования текстильных волокон. Использование плазменных технологий в текстильной промышленности обеспечивает уникальные возможности для модификации поверхности волокон с целью улучшения их физико-химических свойств. Эта методика не только способствует улучшению адгезии с другими материалами, но также повышает влаговстойкость, износостойкость и другие характеристики текстильных материалов.

В работе [1] проводится анализ влияния высокочастотного емкостного (ВЧЕ) разряда пониженного давления на сорбцию ПАН волокна. В начале ПАН волокна подвергались ВЧЕ плазменной обработке, затем образец пропитывался раствором, содержащим от 10 до 30 % раствора фогинола и 1 % фосфорной кислоты, в течение 2 мин. Для закрепления замедлителя горения волокно погружали в 10 % раствор сшивающего агента DM 70. Результаты показали, что привес фогинола увеличивается в 2 раза при обработке 10%-ным раствором и в 3,5 раза 30%-ным раствором замедлителя горения плазмообработанных образцов. Показатель воспламеняемости огнезащитных ПАН волокон после стирки остается высоким (27,0–29,5 % об.).

В источнике [2] приводятся результаты влияния ВЧЕ плазмы пониженного давления на фторполимерное покрытие углеродного воло-

на. В процессе обработки углеродного волокна ВЧЕ плазмой пониженного давления при мощности до 100 Вт, в плазмообразующем газе октафторциклобутане (C_4F_8), установлено, что чем больше по времени обрабатывается волокно в плазме пониженного давления, тем больше толщина покрытия из тетрафторэтилена и октафторциклобутана. Авторами показано, что минимальная толщина покрытия, необходимая для экранирования подложки углеродного волокна, составляет 60–70 нм, которая оценивалась с помощью атомно-силовой микроскопии. Также у углеродного волокна в результате нанесения фторполимерного покрытия наблюдается повышение прочности при растяжении на 25–35 %, теплопроводности на 20–36 %, нагрузки при 10% деформации сжатия на 16 %, модуля упругости при сжатии на 63–76 % относительно контрольного образца.

Воздействие плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на гидрофильные свойства арамидных волокон показано в источнике [3]. Результаты экспериментального анализа арамидного волокна «Кевлар» показали, что режим обработки плазмой ВЧЕ разряда пониженного давления: напряжение на аноде 4,5 В, сила тока на аноде 0,4 А, время обработки 2,5 мин приводит к улучшению капиллярности на 40 % относительно контрольного образца.

В источнике [4] представлены результаты влияния плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на адгезионные и физико-механические свойства арамидных и углеродных волокон. Плазменная обработка арамидных и углеродных волокон осуществлялась на установке Nordson March AP-1500 в режиме: расход плазмообразующего газа 0,05 см³/с, мощность разряда 1000 Вт, время обработки 3 мин, давление вакуумной камеры от 5 до 35 Па. В качестве плазмообразующего газа были использованы аргон и воздух. Зависимость высоты капиллярного поднятия связующего по арамидным волокнам от давления вакуумной камеры показывают, что лучшей обработка является при давлении в вакуумной камеры 5 Па в аргоне и 35 Па в воздухе. А зависимость поднятия высоты связующего по углеродным волокнам от давления вакуумной камеры показывает, что экстремум проявляется при 25 Па для аргона и воздуха. Повышение

либо понижение давления в вакуумной камере приводит к снижению показателя капиллярности.

Воздействие плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на базальтовое волокно исследовалось в работе [5]. Установлено, что обработка базальтовых волокон ВЧЕ плазмой пониженного давления в режиме: мощность разряда 2,2 кВт, время обработки 10 мин, давление в рабочей камере 26,6 Па, вид плазмообразующего газа аргон-воздух (50/50 %) приводит к повышению высоты капиллярности на 104 % относительно контрольного образца.

В работе [6] проводятся результаты влияния плазмы тлеющего разряда пониженного давления в газовой среде азота на ПАН волокна. Плазменная обработка проводилась в режиме: частота генератора 13,56 МГц, давление в рабочей камере 25 Па, мощность разряда 300 Вт, время обработки 1–7 мин. Результаты показывают, что все образцы после плазменной обработки тлеющего разряда пониженного давления продемонстрировали уменьшение краевого угла смачивания, при этом наименьшее значение составило 55 % относительно контрольного образца при обработке в течение 3 мин.

Технологический процесс производства волокна из полиакрилонитрила состоит из нескольких ключевых этапов: синтез полиакрилонитрила, получение текстильного раствора, подготовка раствора к формованию, формование волокна, ориентационное вытягивание и окончательная отделка полученного волокна [7]. Как отмечает автор [8], для получения волокна с наилучшими характеристиками оптимальная молекулярная масса полиакрилонитрила должна составлять 40000–60000 а. е. м. Полимер, состоящий из молекулярной массы ниже 10000 а. е. м., не позволяет формировать волокна.

ПАН волокна представляют собой одни из широко применяемых синтетических волокон в промышленности, обладающих возможностью изменения своих характеристик в значительном диапазоне путем применения различных методов модификации. Изменение функциональных свойств текстильных материалов с помощью химической или физической модификации требует значительно меньших ресурсных затрат и времени по сравнению с разработкой принци-

пильно новых видов волокон [9]. В контексте решения этого вопроса, наиболее эффективным является использование ВЧЕ плазменной обработки пониженного давления, так как она обладает экологической безопасностью и не требует химического контакта в процессе обработки материала.

Целью работы является исследование влияния плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на адгезионные свойства ПАН волокон для дальнейшего применения их в качестве армирующего компонента в композиционных материалах. В качестве объектов исследования использовались ПАН волокна производства ООО «Алабуга-Волокно».

Научная новизна данного исследования заключается в выявлении наилучшего режима ВЧЕ плазменной обработки, позволяющего повысить адгезию ПАН волокон (армирующего компонента) к эпоксидному связующему (матрице) при получении композиционных материалов.

Для модификации ПАН волокна использовалась высокочастотная плазменная установка емкостного разряда с плоско-параллельными электродами, состоящая из вакуумной камеры, высокочастотного генератора, системы регулятора подачи плазмообразующего газа, диагностической аппаратуры [10]. Режимы плазменной обработки представлены в таблице 1.

Для оценки адгезионных свойств между ПАН волокнами и материалом матрицы, состоящим из эпоксидной смолы с отвердителем, применен метод wet-pull-out. После полного отверждения связующего вещества, образцы композитного материала были закреплены в зажимах разрывной машины Shimadzu AGS-X (Япония) и подвергались растяжению, путем вытягивания волокна

из отвержденного связующего. Это позволило определить величину разрушающей нагрузки, что является мерой адгезионной прочности соединения [11]. Одним из показателей, косвенно влияющих на адгезионные свойства, является капиллярность, которую можно оценить с помощью высоты капиллярного подъема воды (h , в мм) по пучку ПАН волокон. Определение проводилось в соответствии с ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) [12]. Для определения этих показателей было проведено 5 измерений, на равном расстоянии друг от друга, состоящих из 10 нитей в каждом пучке волокон.

Использование предварительной плазменной обработки ПАН волокон для улучшения смачиваемости их поверхности и улучшения гигроскопических свойств позволит улучшить пропитку модифицирующими составами, а также получать на их основе многослойные материалы с повышенными адгезионными свойствами.

Зависимость изменения капиллярности от режима высокочастотной плазменной обработки пониженного давления представлена на рисунке 1.

Из результатов, представленных на рисунке 1 видно, что происходит повышение капиллярности ПАН волокон после плазменной обработки во всех режимах. Это можно объяснить тем, что в процессе плазменной обработки пониженного давления в среде воздуха образуются реакционноспособные группы кислорода и азота, которые в свою очередь связываются на поверхности волокна, образуя функциональные полярные группы.

Установлено, что у образца, обработанного при 1500 Вт, наблюдается наибольшее повышение капиллярности (на 52 %) по сравнению

Таблица 1 – Режимы плазменной обработки ПАН волокон

Образец	Плазмообразующий газ	Расход газа, г/с	Давление вакуумной камеры, Па	Время обработки, мин	Мощность разряда (W_p), Вт
1	Воздух	0,04	20	20	1000
2					1500
3					2000

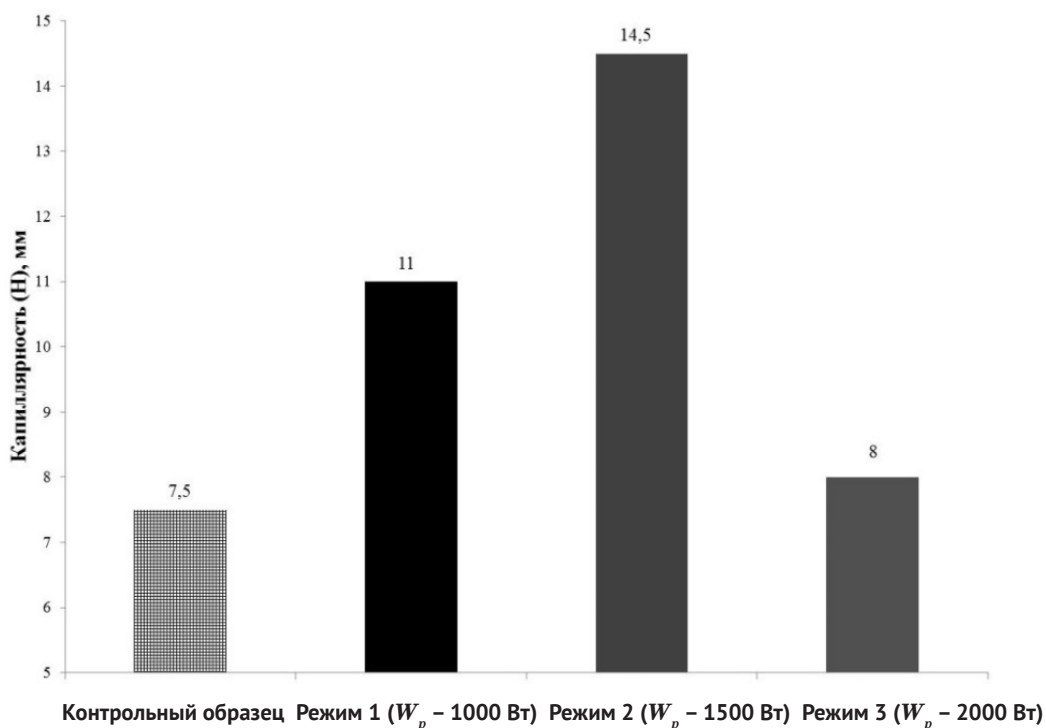


Рисунок 1 – Зависимость капиллярности ПАН волокон от мощности разряда ВЧЕ плазменной обработки пониженного давления

с контрольным образцом, не прошедший плазменную обработку.

Высокие адгезионные свойства волокон необходимы для обеспечения эффективной передачи нагрузки между волокнами и матрицей, что повышает прочность и устойчивость материала к разрушению.

Результаты определения нормированной величины разрушающей нагрузки композита на основе ПАН волокна и эпоксидного связующего методом wet-pull-out в зависимости от режима плазменной обработки представлены на рисунке 2, нагрузка в момент выдергивания ПАН волокна представлена в таблице 2.

Результаты, представленные на рисунке 2 и в таблице 2 демонстрируют, что наилучший режим плазменной обработки для достижения максимальной нагрузки (выше на 45,4 % относительно контрольного образца) и нормированная величина разрушающей нагрузки композитов на основе ПАН волокна и эпоксидного связующего (выше на 53 % относительно контрольного

образца) наблюдаются у образца прошедшего плазменную обработку при мощности разряда $W_p = 1500$ Вт. Повышение данных показателей у модифицированных образцов свидетельствует о более интенсивном взаимодействии волокон с эпоксидным связующим.

Вывод. Таким образом, исследование показало, что модификация ПАН волокон с использованием плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления способствует улучшению адгезионных свойств и капиллярности. Это может быть особенно полезно в промышленных процессах производства текстильных и строительных изделий, где требуется надежное соединение между компонентами. Одним из ключевых результатов исследования является выявление наилучшего режима ВЧЕ плазменной обработки ($W_p = 1500$ Вт), который приводит к повышению нормированной величины разрушающей нагрузки композитов на основе ПАН волокна и эпоксидного связующего на 53 % и капиллярности на 52 % относительно контрольного образца.

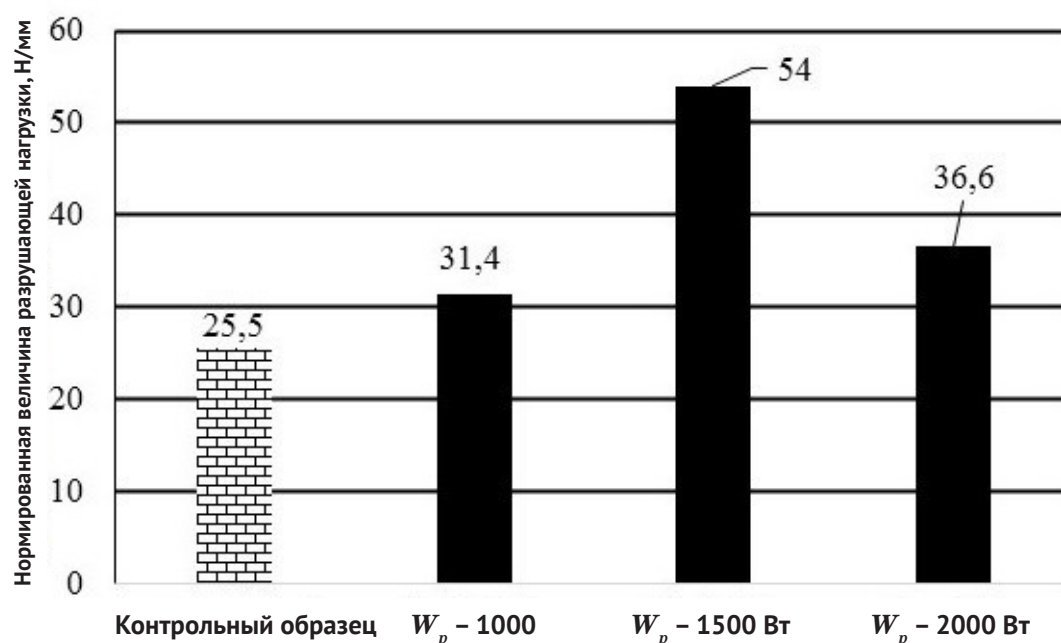


Рисунок 2 – Влияние плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на значение нормированной величины разрушающей нагрузки композита

Таблица 2 – Влияние ВЧЕ плазмы пониженного давления на максимальную нагрузку в момент выдергивания ПАН волокна

Образец	Нагрузка, Н
Контрольный образец	97,1
$W_p - 1000 \text{ Вт}$	138,2
$W_p - 1500 \text{ Вт}$	178,1
$W_p - 2000 \text{ Вт}$	128,9

В целом, данное исследование подтверждает потенциал ВЧЕ плазменной обработки для повышения адгезионных свойств как ПАН волокон, так и других синтетических волокон и указывает на необходимость дальнейших исследований в этой области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бесшапошникова, В. И., Бесшапошникова, Н. В., Лебедева, Т. С., Загоруйко, М. В. (2018), Огнезащитная модификация полиакрилонитрильных волокон, обработанных ВЧЕ плазмой пониженного давления, *Theoretical & Applied Science*, 2018, № 11 (67), С. 47–53.

2. Шелестова, В. А., Жандаров, С. Ф., Данченко, С. Г., Гракович, П. Н. (2014), Модифицирование поверхности углеродных волокон фторполимером в низкотемпературной плазме, *Физика и химия обработки материалов*, 2014, № 4, С. 12–19.
3. Сергеева, Е. А., Ибатуллина, А. Р. (2012), Изменение поверхностных и физико-механических свойств арамидных волокон, модифицированных потоком плазмы высокочастотного емкостного разряда пониженного давления, *Вестник Казанского технологического университета*, 2012, Т. 15, № 4, С. 63–66.
4. Антипов, Ю. В., Круглов, Е. В., Пахомов, К. С., Чалых, А. Е. (2021), Влияние потока плазмы высокочастотного емкостного разряда пониженного давления на адгезионные и физико-механические характеристики арамидных и углеродных волокон, *Пластические массы*, 2021, № 10, С. 8–11.
5. Карноухов, А. Е., Каримуллин, И. И., Харапудько, Ю. В. (2018), Исследование влияния ВЧЕ-разряда на впитываемость полимерного связующего базальтовым волокном, *Международный академический вестник*, 2018, № 1-2 (21), С. 31–32.
6. Yan Chun Liu, Da Nian Lu (2006), Surface Energy and Wettability of Plasma-treated Polyacrylonitrile Fibers, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2006, I. 26, pp. 119–126.
7. Беркович, А. К. (2010), Синтез полимеров на основе акрилонитрила, *Технология получения ПАН и углеродных волокон*, Москва, 63 с.
8. Циркина, О. Г. (2010), *Производство химических волокон*, Иваново, 64 с.
9. Султонова, Н. С., Шаманов, Ш. Х., Хасанова, С. Х. (2023), Модификации синтетического волокна поливиниловым спиртом, *Научный журнал Инвольта*, 2023, Т. 2, № 5, С. 111–114.
10. Абдуллин, И. Ш. (2000), *Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях*, Казань, 348 с.
11. Тимошина, Ю. А., Вознесенский, Э. Ф. (2021), Влияние ВЧ плазменной модификации на адгезионные свойства полипропиленовых волокон, *Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий*, 2021, С. 165–167.
12. ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81). *Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоталкивающих свойств*, введ. 01.07.1982, (1982), Москва, Издательство стандартов, 14 с.

REFERENCES

1. Besshaposhnikova, V. I., Besshaposhnikova, N. V., Lebedeva, T. S., Zagorujko, M. V. (2018), Fire-retardant modification of polyacrylonitrile fibers treated with low pressure plasma [Ognezashhitnaja modifikacija poliakrilonitril'nyh volokon, obrabotannyh VChE plazmoj ponizhennogo davlenija], *Theoretical & Applied Science*, 2018, № 11 (67), pp. 47–53.
2. Shelestova, V. A., Zhandarov, S. F., Danchenko, S. G., Grakovich, P. N. (2014), Modification of the surface of carbon fibers with a fluoropolymer in low-temperature plasma [Modificirovanie poverhnosti uglerodnyh volokon ftorpolimerom v nizektemperaturnoj plazme], *Fizika i himija obrabotki materialov – Physics and chemistry of materials processing*, 2014, № 4, pp. 12–19.
3. Sergeeva, E. A., Ibatullina, A. R. (2012), Changes in the surface and physical-mechanical properties of aramid fibers modified by a low-pressure radio-frequency capacitive discharge plasma flow [Izmenenie poverhnostnyh i fiziko-mehanicheskikh svojstv aramidnyh volokon, modificirovannyh potokom plazmy vysokochastotnogo emkostnogo razrjada ponizhennogo davlenija], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2012, T. 15, № 4, P. 63–66.
4. Antipov, Yu. V., Kruglov, E. V., Pakhomov, K. S., Chalykh, A. E. (2021), Influence of low-pressure high-frequency capacitive discharge plasma flow on the adhesive and physical-mechanical characteristics of aramid and carbon fibers [Vlijanie potoka plazmy vysokochastotnogo emkostnogo razrjada ponizhennogo davlenija na adgezionnye i fiziko-mehanicheskie harakteristiki aramidnyh i uglerodnyh volokon], *Plasticheskie massy – Plastic masses*, 2021, № 10, P. 8–11.

5. Karnoukhov, A. E., Karimullin, I. I., Kharapudko, Yu. V. (2018), Study of the influence of RF discharge on the absorption of a polymer binder by basalt fiber [Issledovanie vlijanija VChE-razrjada na vpityvaemost' polimernogo svjazujushhego bazal'tovym voloknom], *Mezhdunarodnyj akademicheskij vestnik – International Academic Bulletin*, 2018, № 1-2 (21), pp. 31–32.
6. Yan Chun Liu, Da Nian Lu (2006), Surface Energy and Wettability of Plasma-treated Polyacrylonitrile Fibers, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2006, l. 26, pp. 119–126.
7. Berkovich, A. K. (2010), *Cintez polimerov na osnove akrilonitrila. Tehnologija poluchenija PAN i uglerodnyh volokon* [Synthesis of polymers based on acrylonitrile. Technology for producing PAN and carbon fibers], Moscow, 63 p.
8. Cirkina, O. G. (2010), *Proizvodstvo himicheskikh volokon* [Manufacturer of chemical fibers], Ivanovo, 64 p.
9. Sultonova, N. S., Shamanov, Sh. Kh., Khasanova, S. Kh. (2023), Modifications of synthetic fibers with polyvinyl alcohol [Modifikacii sinteticheskogo volokna polivinilovym spirtom], *Nauchnyj zhurnal Invol'ta – Scientific journal Involta*, 2023, Vol. 2, № 5, pp. 111–114.
10. Abdullin, I. Sh. (2000), *Vysokochastotnaja plazmenno-strujnaja obrabotka materialov pri ponizhenykh davlenijah* [Radio-frequency plasma-jet processing of materials at low pressures], Kazan, 348 p.
11. Timoshina, Yu. A., Voznesensky, E. F. (2021), Effect of RF plasma modification on the adhesive properties of polypropylene fibers [Vlijanie VCh plazmennoj modifikacii na adgezionnye svojstva polipropilenovyh volokon], *Nauchnye issledovanija i razrabotki v oblasti dizajna i tehnologij – Research and development in design and technology*, 2021, pp. 165–167.
12. GOST 3816-81 (ISO 811-81). *Textile fabrics. Methods for determining hygroscopic and water-repellent properties* [Polotna tekstil'nye. Metody opredelenija gigroskopicheskikh i vodoottalkivajushhih svojstv], introduced 07/01/1982, (1982), Moscow, Standards Publishing House, 14 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Баллыев Салих

Кандидат технических наук, инженер кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных материалов», Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

E-mail: Archimurr87@gmail.ru

Сагитова Фарида Равилевна

Кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры «Технологии лакокрасочных материалов и покрытий», Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

E-mail: farida_sagitova@mail.ru

Шарифуллин Фарид Саидович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных материалов», Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

E-mail: Sharifullin80@mail.ru

Salih Ballyev

Candidate of Sciences (in Engineering), Engineer at the Department "Plasma-chemical and Nanotechnologies of High-molecular Materials", Kazan National Research Technological University, Russian Federation.

E-mail: Archimurr87@gmail.ru

Farida R. Sagitova

Candidate of Sciences (in Engineering), Leading Engineer at the Department "Technology of Paints and Varnishes and Coatings", Kazan National Research Technological University, Russian Federation.

E-mail: farida_sagitova@mail.ru

Farid S. Sharifullin

Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department "Plasma-chemical and Nanotechnologies of High-molecular Materials", Kazan National Research Technological University, Russian Federation.

E-mail: Sharifullin80@mail.ru